

**ANALYYSI POHJOIS-SUOMEN SYNTYMÄKOHORTIN 1966 SPIROMETRIA-AI-  
NEISTON LUOTETTAVUUDESTA**

Jumisko, Joni  
Syventävien opintojen tutkielma  
Lääketieteellinen tutkinto-ohjelma  
Lääketieteellinen tiedekunta  
Oulun yliopisto  
05/2020  
Tutkielman ohjaajat: Essi Varkki ja Johanna  
Salonen

## TIIVISTELMÄ

Jumisko, Joni

Analyysi Pohjois-Suomen syntymäkohortin 1966  
spirometria-aineiston luotettavuudesta

Syventävien opintojen tutkielma:

29 sivua, 0 liitettä

---

Tutkielmani aiheena on Pohjois-Suomen vuoden 1966 syntymäkohortin spirometria-aineiston luotettavuus. Epäonnistuneen spirometriapuhalluksen taustatekijät voidaan karkeasti jakaa potilaslähtöisiin, hoitajalähtöisiin ja laiteperäisiin virheisiin. Spirometrian onnistunut suorittaminen edellyttää hyvää kooperaatiota ja laitteen huolellista käyttöä sekä valmistelua ja ohjausta. Jos yksikin edellä mainituista tekijöistä on huonosti tai huolimattomasti hoidettu niin vaarana on epäluotettava diagnostiikka ja potilaan hoidon epäonnistuminen.

Osana tutkielmaa esittelen spirometrian luotettavuuden kehitystä suomalaisessa viitekehiksessä. Viimeisten vuosikymmenien aikana maassamme on edistytty huomasti laitehuollon ja viitearvostojen osalta. Täten spirometriat ovat toistettavuudeltaan laadukkaampia kuin koskaan aikaisemmin. Lisäksi kirjallisuuskatsauksessa tuodaan ilmi koulutuksen merkitystä spirometrian onnistumisen kannalta; on olemassa tutkimusnäyttöä siitä, että tutkimushoitajien suhteellisen lyhyilläkin interventiojaksoilla saadaan lisättyä spirometrian luotettavuutta ja toistettavuutta.

Tutkimusaineistoni kattaa kaikkiaan 818 tutkittavan spirometriapuhallukset, tyypillisimmillään yksi puhallusarja sisälsi 3-8 puhallusta. Onnistuneita puhallussarjoja oli 352 (43 %) ja epäonnistuneita 436 (53,3 %). 30 (3,7 %) tapauksessa spirometriapuhallus ei ollut tallentunut järjestelmään ollenkaan. Epäonnistuneista puhalluksista laiteperäisiksi eli nollatason puhalluksiksi kategorisoitiin kaikkiaan 113 (13,8 %), ja loput olivat henkilötason ongelmatiikkaan liittyviä (potilasperäisiä 229 (28 %) ja hoitajaperäisiä 94 (11,5 %)). Puhallusten heikon toistettavuuden taustalla lienevät ainakin kannettavan laitteiston itsessään sisältämät ongelmat (standardoidun puhallusasennon puute ja laitteiston alhainen suorituskky). Aineiston lukuisat teknisesti kelvottomat puhallukset kertovat myös puutteista laitteistokoulutuksessa sekä virheellisen käyrästöjen tunnistamisessa. Kirjallisuudessa suositetaan tiheitä laitekalibrointeja ja havaitsemani puutteet tässä voivat myös olla teknisten ongelmien taustalla.

Yhteenvetona voidaan todeta, että vuoden 1966 syntymäkohortin spirometria-aineisto oli laadullisesti heikko, ja siten kyseinen aineisto soveltuu huonosti muuhun tutkimuskäyttöön. Tulos on kuitenkin selitettävissä tekijöillä, jotka liittyvät tämän nimenomaisen tutkimuksen toteutukseen, eikä näin ollen ole yleistettävissä kuvaamaan alueellista tai valtakunnallista tilannetta.

Avainsanat: luotettavuus, spirometrian laatukriteerit, spirometria, syntymäkohortti 1966

## SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	4
2. SPIROMETRIA KEUHKOFUNKTIOTUTKIMUKSENA .....	5
2.1. Spirometrian lyhyesti .....	5
2.2. Spirometriassa käytettävät suureet.....	5
2.3. Spirometrian indikaatiot.....	6
2.4. Spirometrian vasta-aiheet.....	6
2.5. Spirometrialaitteisto .....	7
2.6. Hyväksymis- ja toistettavuuskriteerit .....	8
2.7. Spirometria – vaativa keuhkofunktiotutkimus.....	9
2.8. Spirometrian uudet suomalaiset viitearvot.....	10
3. SPIROMETRIAN LAATUKRITEERIT .....	11
3.1. Spirometrian laadun kehitys Suomessa .....	11
3.2. Spirometrioiden laatu ulkomaisissa aineistoissa.....	12
3.3. Spirometrian onnistuvuus eri ikäryhmissä.....	13
3.4. Spirometria – ohjaajan rooli onnistumisessa .....	15
4. TUTKIMUSONGELMA .....	16
5. AINEISTO JA MENETELMÄT .....	16
6. TULOKSET .....	22
6.1. Havainnot laitteistosta.....	22
6.2. Spirometrioiden luotettavuus ja virhetapausten yleisyys.....	22
7. POHDINTA.....	24
8. LÄHDELUETTELO .....	27

## 1. JOHDANTO

Keuhkosairaudet ovat keskeinen osa yleislääketieteen kenttää. Obstruktiivisiin keuhkosairauksiin kuuluvat keuhkoahtaumatauti (COPD) ja astma ovat Suomessa suhteellisen yleisiä kansansairauksia (Astma: Käypä Hoito -suositus 2012, Keuhkoahtaumatauti: Käypä Hoito -suositus 2020). Restriktiivisiin keuhkosairauksiin luokitellaan puolestaan keuhkofibroosit (Hodgson ym. 2017). Spirometria kuuluu kaikkien edellä mainittujen sairauksien perusdiagnostiikkaan. Se on perustutkimus, jonka avulla terveystieteiden lääkärit voivat tehdä parhaimmillaan erittäin osuvaa ja luotettavaa diagnostiikkaa. Spirometrian tekemistä yleensä edellytetäänkin ennen kuin potilas voidaan ohjata erikoissairaanhoidon keuhkosairauksien poliklinikalle. (Pierce 2005)

Keuhkosairaudet aiheuttavat merkittävät yhteiskunnallisen menoerän; esimerkiksi vuonna 2016 Suomessa 217 396 potilasta oli oikeutettu erityiskorvattaviin astmalääkkeisiin pelkästään krooniseen keuhkoastmaan ja sitä läheisesti muistuttaviin obstruktiivisiin keuhkosairauksiin liittyen. Tämä aiheutti yhteiskunnalle noin 88 miljoonan euron kuluerän (Koski-Pirilä ym. 2017). Astma onkin toiseksi yleisin syy lääkkeiden erityiskorvattavuuteen verensapainetaudin jälkeen. Diagnostiikan osuvuudella voidaan vaikuttaa lääkityksen tarpeessa olevien potilaiden tarkempaan tunnistamiseen ja siten jakaa järkevästi yhteiskunnan verovarvoja. Spirometriaa voidaan diagnostiikan lisäksi käyttää myös esimerkiksi osana astman vuosikontrollia ja hoitotasapainon seurantaa. (Astma: Käypä Hoito -suositus 2012). Spirometrian muita hyödyllisiä sovellutuksia ovat esimerkiksi anestesiologinen potilaan leikkauskelpoisuuden arviointi, sädehoito- ja toimenpideriskien arviointi sekä työterveyden näkökulmasta tapahtuva työkykyarviointi (Sovijärvi ym. 2018).

Spirometriaa hyödynnetään diagnostiikassa samaan tapaan kuin keuhkojen kuvantamistutkimuksia tai verikokeita. Keskeisenä eroavuutena on kuitenkin tutkimuksen monipuolisuus, monivaiheisuus ja lukuisat huomioon otettavat asiat tutkimukseen valmistautumisessa, tutkimuksen suorittamisessa ja kerättyjen tuloksien tulkinnassa. (Miller ym. 2005) Monimutkaisuus on johtanut siihen, että spirometriatutkimus voi epäonnistua monella tasolla. Tämän seurauksena potilaan diagnostiikka voi mennä tyystin pieleen. Pahimmassa tapauksessa se voi johtaa vuosien tai vuosikymmenien turhaan lääkekierteeseen, yhteiskunnallisella tasolla haaskattuihin resursseihin ja henkilökohtaiseen ahdistukseen olemassa olevasta väärästä diagnoosista. Spirometrian huolellinen suorittaminen mahdollistaa luotettavan diagnostiikan ja täsmällisen lääkityksen.

## **2. SPIROMETRIA KEUHKOFUNKTIOTUTKIMUKSENA**

### **2.1. Spirometria lyhyesti**

Hengitys on elintärkeä prosessi, jonka ymmärtäminen on keskeistä tavallisten kansansairauksien diagnostiikan kannalta. Hengityksessä yhdistyvät niin kaasujen diffuusio, keuhkojen verenkierto kuin itse hengitystyön mahdollistama keuhkojen paine-, tilavuus- ja virtaus työ, jotka toimivat hengittämisen tukirankana. Hengitysfysiologian ymmärtäminen on ehdottoman tärkeää spirometrian ymmärtämisen, tulkinnan, luotettavuuden arvioinnin ja diagnostiikan kannalta. (Pierce 2005)

Spirometriassa tutkitaan hengitysfunktion osalta etenkin sitä, millaisia ilmatilavuuksia tutkittava kykenee ulos- ja sisään hengittämään ajan funktiona määritettyihin viitearvoihin nähden. Tutkimuksena se on noninvasiivinen, mutta toisaalta fyysisesti melko kuormittava ja hyvää ohjausta edellyttävä. Lasten kohdalla tutkimus onnistuu yleensä 5-vuotiaasta ylöspäin, huomioitavaa on, että nuorimmilla ikäryhmillä animaatiot ja selkeä ohjeistus korostuvat tutkimuksen onnistumisen kannalta. Jotta spirometria voidaan suorittaa, tarvitaan tutkitavasta ikä, pituus ja etninen syntyperä. Painolla ei ole merkitystä viitearvoihin, mutta huomattavan ylipainon huomioiminen on tärkeää tuloksia tulkittaessa. (Pierce 2005).

Spirometrian toistettavuus ja luotettavuus ovat erittäin tärkeitä näkökohtia, joiden huomioiminen mahdollistaa luotettavan ja laadukkaan diagnostiikan. Tutkimuksena spirometria on fyysisesti vaativa ja riittävää kooperaatiota edellyttävä. Toistettavuuskriteeristöä arvioitaessa onkin lukuisia аспекteja, jotka täytyy ottaa huomioon. Tutkimuksena spirometria voidaan karkeasti jakaa kolmeen keskeiseen laatuun vaikuttavaan osatekijään: tutkimuksen suorittajaan, tutkittavaan ja tutkimuksessa käytettävään laitteistoon. Niin tekniset kuin henkilöihin liittyvät tekijät voivat tehdä spirometrian tuloksista täysin epäluotettavia.

### **2.2. Spirometriassa käytettävät suureet**

Spirometriassa käytettävät suureet voidaan jakaa tilavuutta mittaaviin suureisiin, joita ovat uloshengityksen sekuntikapasiteetti (FEV1, forced expiratory volume in one second), sisäänhengityksen sekuntikapasiteetti (FIV1, forced inspiratory volume in one second), nopea vitaalikapasiteetti (FVC, forced vital capacity) ja hidas vitaalikapasiteetti (VC, vital capacity). Edellä mainittujen suureiden yksikköinä käytetään litroja. Lisäksi spirometriassa mi-

tataan ilmvirran nopeuksia puhalluksen eri vaiheissa. Spirometriassa uloshengityksestä voidaan määrittää huippuvirtaama. (PEF, peak expiratory flow). Lisäksi ilmvirran suuruutta voidaan mitata myös puhalluksen puolivälissä (MEF50, forced mid expiratory flow at 50 %) ja puhalluksen viimeisen tilavuusneljänneksen kohdalla (MEF25, forced mid expiratory flow at 25 %) tai sisäänhengityksen huippuvirtaamana (PIF, peak inspiratory flow). Virtaus-suureiden mittayksikköinä käytetään puolestaan litroja sekunnissa, l/s. Lisäksi yksi keskeisimmistä spirometrian suureista on sekuntikapasiteetin ja nopean vitaalikapasiteetin suhde (FEV1/FVC), joka puolestaan ilmoitetaan prosentteina. (Pierce 2005) Erittäin yksinkertais-  
 tetussa mallinnuksessa suureiden tulkinnassa tehdään jaottelua obstruktiivisten eli virtaus-  
 nopeuksiin liittyvien tuuletus- eli ventilaatiohäiriöiden ja restriktiivisten eli hengitystila-  
 vuuksiin liittyvien häiriöiden tunnistamiseen ja diagnostiikkaan. Obstruktiiviset sairaudet il-  
 mentävät tavallisesti virtaussuureiden poikkeavuuksia, kun taas restriktiiviset puolestaan  
 muutoksia tilavuussuureissa. FEV1/FVC-suhdeluku on erinomainen obstruktiivisen venti-  
 laatiohäiriön osoittaja. Tarkempaa arviota obstruktiivisen häiriön sijainnista voidaan tehdä  
 virtaussuureiden avulla; pienten hengitysteiden obstruktio voi ilmetä tyypillisimmin  
 MEF50-arvon alenemana, kun taas sentraalisempi häiriö voi ilmentyä PEF-arvossa. Keskei-  
 nen keuhkosairauksiin liittyvä käsite on myös dynaaminen restriktio, jossa keuhkoputkien  
 obstruktio johtaa vajaaseen keuhkojen tyhjentymiseen ja ilmasalpaukseen. (Sovijärvi ym.  
 2018)

### **2.3. Spirometrian indikaatiot**

Keskeisimmät spirometrian indikaatiot ovat perusterveydenhuollon ja erikoissairaanhoidon  
 diagnostiikassa. Kuten aiemmin esitettiin, spirometriatutkimus on monessakin mielessä niin  
 sanottu kultainen standardi niin restriktiivisten kuin obstruktiivistenkin ventilaatiohäiriöiden  
 diagnostiikassa. Diagnostiikan lisäksi spirometrian sovelluksia ovat diagnostiikan jälkeen  
 tapahtuvat lääkevastearvio-kontrollikäynnit, jolloin ventilaatiohäiriön vastetta lääkehoitoon  
 voidaan arvioida toistetuilla spirometrioilla. Spirometrialla voidaan myös määrittää leik-  
 kausriskejä ja potilaan anestesiologista riskiprofiilia, koska kyseessä on ventilaatiokykyä  
 mittaava tutkimus. Muita sovellutuksia ovat mm. työterveydelliset työkykyarviot ja säde-  
 hoito-/toimenpideriskien arviointi (esimerkiksi kapasiteetti selvitä pleurapunktion kompli-  
 kaationa kehittyvästä ilmarinnasta). (Sovijärvi ym. 2018)

### **2.4. Spirometrian vasta-aiheet**

Spirometrian keskeiset vasta-aiheet on hyvä tiedustella viimeistään tutkimuspäivänä tutkitavalta. Harkinnanvaraisiin vasta-aiheisiin lukeutuvat tuore sydäninfarkti (alle 1 kk), epästabili angina pectoris, vaikeat sydämen rytmihäiriöt, dementia tai muu kognition alenema, raskauden viimeinen trimesteri ennenaikaisen synnytyksen riskeineen, alle 2 viikkoa sitten sairastettu hengitystieinfektio, yskösvärjäys-positiivinen keuhkotuberkuloosi, ilmarinta, keuhkotoimenpiteen välitön jälkitila ja vaikeat rinnan/vatsan/kasvojen alueen kiputilat. (Sovijärvi 2019)

## 2.5. Spirometrialaitteisto

Spirometrialaitteiston merkitys on suuri spirometrian suorittamisen kannalta. Käytettävälle laitteistolle on asetettu monenlaisia laatukriteeristöjä, joiden täyttymisestä ja täyttymättä jättämisen ilmoittamisesta valmistaja on vastuussa. Laitteiden tulee esimerkiksi pystyä rekisteröimään riittävän pitkiä puhalluksia ja puhalluksien ilmavirtamuutosten rekisteröinnin hienotarkkuuden tulee olla riittävän suuri. Lisäksi laitteistojen tulee olla riittävän luotettavia hengitysmekaniikan fysiologisten rasitteiden aiheuttamien haasteiden takia, esimerkiksi hengityksen kosteuden ei pitäisi vaikuttaa tuloksiin tai laitteen toimintaan. Lisäksi siinä missä radiologisessa diagnostiikassa näyttöpäätteen osuus on merkittävä kuvien katselussa, myös spirometrialaitteiston täytyy olla kytkettynä riittävän laadukkaaseen ja tarkkaan monitoriin, jotta käyrän luotettava arviointi on ylipäättään mahdollista. (Miller ym. 2005)

Spirometrialaitteistolla pyritään mittaamaan mahdollisimman tarkasti ilmavirtauksia ja -tilavuuksia. Laitteen ylläpito huolloilla ja kalibroinneilla mahdollistaa tarkan mittaamisen ja eliminoi teknisistä syistä johtuvan vaihtelun tutkimustuloksissa. Onkin ehdotettu, että kalibroinnista olisi hyvä pitää lokikirjaa sen toteutumisen varmistamiseksi. Tavallisesti kalibroiminen suoritetaan ruiskuilla, joiden tilavuudet ovat tarkasti tiedossa. Näin laitteistolle voidaan simuloida puhallussarjoja, joista saatuja mittaustuloksia sitten verrataan referenssiarvoihin ja näin saadaan tietoa laitteiston mittausrvirheestä. Laitteistoperäisen virheen tulisi jäädä alle 3,5 %:iin todellisista arvoista. Tarvittaessa huoltotoimenpiteitä ja/tai ohjelmistopäivityksiä on suoritettava, jotta laitteisto täyttäisi standardit. Yleensä toki laitevalmistajalla on ohjeistukset laitteiston kalibroimisesta ja niistä viitearvoista/standardeista, jotka tulee täyttyä kalibroimisen yhteydessä. Myös muista huolto- ja päivitystoimenpiteistä olisi hyvä pitää erillistä kirjaa laitteiston kunnon seuraamiseksi. (Miller ym. 2005)

Laitteiston osalta merkittävää on myös tarkastella eräiden keskeisten komponenttien ominaisuuksia: Esimerkiksi suukappaleen tulee olla sopiva ja riittävän tiivis. Vaikka tiiviyn riittävä huomioiminen voi olla haasteellista suun ja nielun rakenteen anatomisen varianssin vuoksi, sille tulisi uhrata riittävästi aikaa. Suukappaleen vuoto on rinnastettavissa järjestelmän vuotoon, jolloin saadut tilavuusparametrit eivät ole enää luotettavia. Erityisesti lasten ja tutkittavien, joiden suussa on hammasproteeseja, spirometriavalmisteluihin tulisi käyttää riittävästi aikaa ja vaivaa. On suositeltavaa, että hammasproteesit, jotka vaikuttavat merkittävästi nielun rakenteeseen tai joihin käyttäjä on merkittävästi tottunut, tulisi jättää suuhun tutkimuksen ajaksi. (Miller ym. 2005)

## **2.6. Hyväksymis- ja toistettavuuskriteerit**

Laitteistonäkökohdan lisäksi toinen keskeinen osa spirometrian onnistumisessa on itse puhallus ja siihen vaikuttavat tekijät. Spirometriatutkimuksessa tutkittavan pitäisi pystyä puhaltamaan kolme yhdenmukaista virtaustilavuuskäyrää. Puhalluksen onnistumisen taustatekijät voidaan jakaa kahteen pääkomponenttiin, joista toinen on puhaltajan ominaisuudet ja toinen tutkimuksen ohjaajan, yleensä hoitajan, ammattitaito. Nämä yhdessä joko mahdollistavat tai eivät mahdollista onnistuneen ja diagnostisessa mielessä arvokkaan kolmen puhalluksen puhallussarjan syntymisen. Onnistuneen puhallussuorituksen keskeisiin ominaisuuksiin kuuluvat riittävä sisään hengitetty tilavuus, riittävän voimakas ulospuhalluksen alku ja keuhkotilavuuden mahdollisimman täydellinen ”tyhjentäminen” eli riittävän pitkä uloshengitys. (Miller ym. 2005)

Eräänlaisena kultaisena standardina spirometrian onnistumista arvioitaessa pidetään vuonna 2005 American Thoracic Society (ATS) ja European Respiratory Society (ERS) yhteistyössä julkaisemia ohjeita. Kliinisessä työssä toimivan lääkärin kannalta keskeisin arvio tapahtuu sekä käyrän muodon että puhtaan numeerisen arvion perusteella. On päätetty, että kahden parhaan FEV1 ja FVC -arvon ero saa olla korkeintaan 150 ml. Jos keuhkojen tilavuus on vähäinen ja FVC alle yhden litran verran, hyväksyttävään tulokseen riittää korkeintaan 100 millilitran eroavuus. Tilavuuksien lisäksi numeerisen tarkastelun kohteena ovat myös virtaussuureet PEF ja PIF, joiden suhteen enintään 10 % eroavuus hyväksytään kahden parhaimman puhalluskerran välillä. Näitä kutsutaan käyrän toistettavuuskriteereiksi, ja ne ovat ehkä keskeisintä ja objektiivisintä arviota tulkittaessa spirometrian luotettavuutta. (Miller ym. 2005).



Muita keskeisiä kriteerejä käyrien laatua arvioitaessa ovat hyväksymiskriteeristöt, jotka katavat seuraavia näkökohtia: Artefaktat kuten yskänpuuskat tulee tunnistaa, ja etenkin ulospuhalluksen ensimmäisen sekunnin aikana ilmenevän artefaktan tulisi yleensä johtaa käyrän hylkäämiseen FEV1-arvon epäluotettavuuden vuoksi. Puhalluksen tulee olla myös riittävän voimakas. Alun epärointi yleensä näkyy siinä, että PEF-arvo ei saavuta huippuaan jyrkän nousun päätteeksi, vaan käyrä on muodoltaan hitaasti tai polveillen nouseva ja siten epäedustava. Puhalluksen voimakasta alkua arvioidaan laskennallisesti ekstrapoloidun tilavuuden (EV) avulla. EV tarkoittaa käytännössä sen ilmamäärän tilavuutta, joka karkaa hengitysteistä ennen varsinaista voimakasta ulospuhallusta. EV:n pitäisi olla laskennallisessa aloituskohdassa alle viisi prosenttia FVC:stä tai alle 150 millilitraa; puhallus tulee siis alkaa jämäkästi ilman ylimääräisiä alkuhengityksiä. Puhalluksen tulisi myös jatkua riittävä pitkään siten, että testin lopetuskriteeristö täyttyy. Tämä tarkoittaa sitä, että puhallus päättyy kauniin tasaiseen plateau-vaiheeseen (viimeisen sekunnin aikana tilavuuden muutos saa olla korkeintaan 25 ml) ja että tutkittava on antanut kaikkensa ulospuhalluksen aikana. Nykyisissä spirometrialaitteistoissa ja ohjelmistoissa onkin sisäsyntyisenä ratkaisuna ohjausosio, joka neuvoo jatkamaan puhallusta riittävän pitkään ja ohjelmisto informoi suorittajaa ja tutkimuksen ohjaajaa, jos puhallus oli riittämätön. Yleensä pyritään vähintään 6 sekunnin mittaiseen puhallukseen, tosin lapsilla voidaan tyytyä puoleen tästä. Puhalluksen arviossa korostuu myös visuaalinen arvio käyrien yhdenmukaisuudesta. Apuna voi käyttää numeerisia, käyrän keskivaiheen tapahtumia kuvaavia, MEF-arvoja. Jos edellä mainituissa arvoissa on suurta varianssia, puhallukset todennäköisesti eivät ole kovin yhdenmukaisia. Tutkimuksen ohjaajan on tärkeää tehdä arvio myös suukappaleen toimivuudesta, sillä vääränlainen suukappale voi johtaa valheellisesti obstruktiiviseen käyrään ja esimerkiksi väärään astmadiagnoosiin. (Miller ym. 2005)

## **2.7. Spirometria – vaativa keuhkofunktiotutkimus**

Virtaustilavuusspirometrian suorittaminen hyväksytysti on nuorelle terveellekin ihmiselle vaativa ponnistus. Keuhkofunktiotutkimuksen luotettava onnistuminen aiempien ohjenuorien mukaisesti voi vaatia useamman puhalluksen. Tavoitteena on siis kolme hyväksyttävää puhallusta, joiden saavuttamiseen ei tulisi kuitenkaan käyttää yli kahdeksaa puhallusta. (Miller ym. 2005) Puhallustutkimusta edeltävästi tupakointia tulisi välttää 1 tunnin verran, alkoholia puolestaan ei tulisi nauttia edeltävien 4 tunnin aikana, sykettä merkittävästi kohottavasta liikunnasta pitäisi pidättäytyä 30 minuutin verran ja lisäksi tutkimukseen ei tulisi tulla

juuri ylensyöneenä tai tiukkoihin vaatetuksiin pukeutuneena, koska kyseessä on urheilusuoritukseen verrattavissa oleva maksimaalinen ponnistus. Onnistuneen suorituksen antaminen edellyttää riittävää mentaalista keskittyneisyyttä, jolloin esimerkiksi pitkälle edennyt muistisairaus, psyykkinen sairaus, kehitysvamma tai vaikkapa vaikea stressitila voi estää tarkkojen ohjeiden seuraamisen. Keskeistä tutkimuksen onnistumisen kannalta on hoitajan tai tutkimesta valvovan tahon herkkä tarkkaavaisuus tutkittavaa kohtaan; tärkeää on tunnistaa väsyminen ja se, että ohjeistukset ovat tulleet varmasti ymmärretyksi. Tarvittaessa demonstraatiot ja eleiden käyttäminen ohjaamisen tukena voivat nousta ratkaisevaan osaan tavoiteltaessa ihanteellista puhallussarjaa. Ohjaajan kannustava ja innostava asenne yhdistettynä riittävään ammattitaitoon ja osaamisen päivittämiseen ammatillisen uran varrella heijastuvat tutkimuksen luotettavuudessa. (Miller ym. 2005)

## **2.8. Spirometrian uudet suomalaiset viitearvot**

Suomessakin on siirrytty uusiin viitearvoihin spirometrian tulkinnassa asteittain vuoden 2016 jälkeen. (Sovijärvi ym. 2016) Aiemmin on hyödynnetty Viljasen viitearvoja, jotka ovat olleet käytössä vuodesta 1982 alkaen. Näiden viitearvojen kanssa huomattavat ongelmat aiheutuivat kuitenkin siitä, että tausta-aineistona oli vain ikähaarukkaan 18-64 sijoittuvat henkilöt, iäkkäimpiä, yli 64-vuotiaita, aineistoon ei siis kuulunut. (Viljanen ym. 1982) Myöhemmin onkin havaittu että Viljasen viitearvot ovat johtaneet obstruktion yli diagnostiikkaan iäkkäiden kohdalla. Lisäksi Viljasen tausta-aineistossa on käytetty aikansa laitteistoteknologiaa ja on selvää, että 2020-luvulle tultaessa mittaustarkkuudessa on tapahtunut huomattavaa kehitystä. Spirometrian taustaparametrejä syötettäessä pituuden osuus tulosten tulkinnassa on myös varsin keskeistä, ja useamman vuosikymmenen seuranta-aikana suomalaisten keskipituus on kasvanut noin viidellä senttimetrillä. Suuremman keskipituuden myötä keuhkotilavuudetkin ovat kasvaneet, minkä myötä myös tilavuusparametrien osalta viitearvot olivat jääneet liian pieniksi ja päivitys oli paikallaan. (Sovijärvi ym. 2016)

Uusien spirometrian viitearvojen käyttöönottoa Suomessa edelsi vuonna 2012 julkaistut monikansalliset viitearvot. Nämä niin sanotut GLI2012-viitearvot pohjautuivat 3–94 vuotiailla tehtyihin mittauksiin ympäri maailmaa. Aineistossa mittauksia oli kaikkiaan 74 000 henkilöltä, joista noin neljä viidestä oli valkoihoisia. 2015 Kainun julkaisemassa kattavassa tutkimuksessa käsiteltiin verrokkina näitä uusia monikansallisia viitearvoja. Mitattuna puhallussuureita suhteutettiin Kainun tutkimuksessaan keräämiin 1000 henkilöä kattavaan aineistoon

ja tiiviinä yhteenvedona havaittiin, että uudet monikansalliset viitearvot eivät ongelmitta sovellu suomalaisen väestöpohjan tarkoituksiin: Monikansalliset viitearvot olivat useiden prosenttiyksikköjen verran pienempiä kuin suomalaisten todellisuudessa keskimäärin saavuttavat arvot. Ongelma korostui iäkkäämmissä ikäryhmissä ja lapsissa; keskimäärin suomalaisilla aikuisilla FVC-arvot olivat suurempia noin 5,1-6,2 prosenttiyksikön verran monikansallisiin arvoihin nähden. Kainun keräämä aineisto käsitti maantieteellisesti varsin kattavasti eri ikäryhmiä aina pohjoisesta Suomesta eteläiseen ikähaarukan ollessa Viljasen verrokkitutkimusta laajempi 18–84 vuotta. Tutkimukseen osallistuneet henkilöt olivat Viljasen tutkimuksen tapaan terveitä ja tupakoimattomia. Kainu artikkelissaan ehdottikin, että monikansallisten arvojen käyttöön otosta pidättäydyttäisiin syntyperäisten suomalaisten hoidossa. (Kainu ym. 2015)

Kainun viitearvot esittelivät suomalaiselle lääkärikunnalle uutena asiana z-arvon. Kainun viitearvojen mukaisissa spirometriatulosteissa mitatun tuloksen poikkeamaa viitearvosta kuvaa z-arvo % viitearvosta -lukemien sijaan. Tässä on kyse siitä, että kunkin spirometriassa mitattavan suureen tulos ilmaistaan viitearvoaineiston ikäryhmän mittaustulosten keskihajonnan (SD) kerrannaisena. Jos mittaustuloksen Z-arvo on alle -1,65, tarkoittaa tämä poikkeavaa, normaalin variaation alittavaa, tulosta, sillä Z-arvon 1,65 alittavia tuloksia havaitaan vain alle 5 %:ssa terveistä. (Sovijärvi ym. 2016)

### **3. SPIROMETRIAN LAATUKRITEERIT**

#### **3.1. Spirometrian laadun kehitys Suomessa**

Spirometriapuhallusten laadun ja toistettavuuden arviointi lienee ollut ajankohtainen niin kauan kuin spirometrioita on puhallettu. Etenkin viime vuosikymmenen lopulla Suomessa alettiin yhä enemmän kiinnittää huomiota toistettavuuteen ja hyväksyttävyyteen kansallisella tasolla. Spirometriatutkimusten historia Suomessakin on varsin värikäs. Vuosina 1990-1991 suoritettiin kyselytutkimus, joka lähetettiin vastattavaksi spirometriatutkimuksia suorittaville laboratorioille ja keuhkofunktioyksiköille. Kyselytutkimuksessa saatiin selville, että noihin aikoihin maassamme oli vielä käytössä peräti 27 erilaista spirometrian viitearvostoa. Keskeisenä ongelmana oli myös suomalaisille sopimattomien viitearvostojen käyttö. Lukuisissa spirometrioita suorittavissa laboratorioissa laitteistokalibrointeja ei suoritettu välttämättä ollenkaan ja tutkimuksia suorittavat tai valvovat henkilöt olivat selvästi alikoulutettuja, ja osaamisen päivittämisestä ja hankitun tiedon kertaamisesta riittävällä tasolla ei

pidetty huolta. Syksyllä 1999 kyselytutkimus uusittiin ja noin 10 vuoden seurantajaksolla spirometrian suorittaminen ja tulkinta oli saavuttanut selkeää johdonmukaistumista kansallisella tasolla; selkeästi useammin noudatettiin tuolloin vielä käytössä olleita Viljasen viitearvoja ja käytössä olleiden viitearvostojen määrä oli yli puolittunut (13). Laitteistohuollossa oli myös tapahtunut dramaattista kehitystä kalibroimisen lisääntymisen muodossa; siinä missä vuosikymmen alussa lähes puolissa tapauksista kalibroimista ei suoritettu lainkaan, nyt luku oli supistunut viidennekseen. 1999 puutteita havaittiin edelleen olevan tutkimushoitajiston koulutuksessa ja käyrien toistettavuuskriteeristöjen saavuttamisessa. Kaikilla parametreilla arvioituna suotuisaa kehitystä oli kuitenkin tapahtunut. Taustalla lienee 1993 Suomeen perustettu klinisen fysiologian työryhmä ja tämän seurauksena kehitetyt valtakunnalliset koulutussarjat ja suoritusohjeistot. (Piirilä ym. 2001)

Vuosikymmen kului ja tilanpäivitys oli taas paikallaan. Vuoden 2007 kyselytutkimuksessa spirometriatutkimusten laadukkuuteen oltiin jo varsin tyytyväisiä. Laitekalibrointeja suoritettiin päivittäin 83 % tutkimuspaikoista, kirjallisia ohjeistuksia laadittiin ja noudatettiin 87 % tutkimuspaikoista. Lisäksi viitearvostandardointi oli edennyt vuosikymmenen takaisesta ja nyt lähes kaikki yksiköt (92 %) käyttivät samoja Viljasen viitearvoja. Suotuisaa kehitystä oli tapahtunut etenkin lasten mittausten saralla; noin kolmannes toimipaikoista oli ottanut käyttöön suositellut suomalaiset lasten spirometrian viitearvot. Toisaalta ne julkaistiin vasta vuonna 1998, mikä selittänee kehitystä. Edelleenkin ongelmatiikkaa havaittiin laadukriteeristöjen noudattamisessa; merkittävä osa toimipaikoista ei vastannut ollenkaan hyväksymiskriteeristön (29 %) tai toistettavuuskriteeristö (27 %) kysymyksiin. Edelleen laadunvalvontaan ja koulutukseen suositeltiin lisäämään resursointia diagnostiikan varmentamiseksi. (Pietinalho ym. 2010)

### **3.2. Spirometrioiden laatu ulkomaisessa aineistossa**

Spirometrian laaduntarkkailusta on löydettävissä varsin laajoja aineistoja myös ulkomaisista julkaisuista. Vuonna 2009 julkaistussa hollantilaisessa selvityksessä tarkasteltiin tutkimuslaatua perusterveydenhuollon saralla kattaen kaikkiaan 1091 aikuisen potilaan 1271 puhallustutkimusta. Tutkimukset suoritettiin spirometriamittauksiin erikoistuneessa klinisen fysiologian laboratoriossa riittävästi kouluttautuneen tutkimushoitajan toimesta. Harmillisesti tässä suhteellisen tuoreessa tutkimuksessa käytettiin kuitenkin jo hieman vanhentuneita ATS/ERS:n mukaisia hyväksymis-/toistettavuuskriteeristöjä vuodelta 1994. Tuolloin toistettavuuskriteeristön täyttymiseen täytyivät, jos puhallussarjan parhaat FEV1 ja FVC -arvot

poikkesivat enintään 200 ml toisistaan. Tutkimuksessa 3 puhalluksen sarjoja oli kaikkiaan 1243 ja näistä 493 tapauksessa (38,8 %) päästiin molempien kriteerien mukaisesti hyväksytyyn puhallukseen. (Schermer ym 2009) 2006 julkaistussa espanjalaisessa tutkimuksessa puolestaan verrattiin perusterveydenhuollon spirometria-testauksia sairaalatasen kliinisissä laboratoriossa tuotettuihin verrokkeihinsa. Perusterveydenhuollon mittauksista ATS/ERS-toistettavuuskriteeristö ei täyttänyt FVC:n osalta peräti 76 %:ssa ja FEV1:n osalta 39,7 %:ssa tapauksista. Virhediagnostiikkaa obstruktion luokittelussa ja väärin positiivisten restriktiivisluonteisten häiriöiden diagnoosien ilmaantuvuus kaikista puhalluksista oli niinkin korkea kuin 39,7 % (Hueto ym. 2006) Hieman toisenlaisiin tuloksiin päädyttiin vuoden 2007 yhdysvaltalaisessa julkaisussa, jossa verrattiin perhelääkärien suorittaman spirometriadiagnostiikan luotettavuutta ja osuvuutta erikoissairaanhoidossa tapahtuvaan diagnostiikkaan. Perhelääkärien tilaamista eli perusterveydenhuollon piirissä toteutuneista 368 spirometria-testauksesta peräti 71 % oli teknisesti onnistuneita 2005 ATS/ERS-standardeilla mitattuna. (Yawn ym. 2007)

### **3.3. Spirometrian onnistuminen eri ikäryhmissä**

Ikääntyminen ja etenkin sen myötä ilmenevät muistisairaudet ja elimistön fyysisen suorituskyvyn lasku vaikuttavat spirometriatutkimuksen onnistumiseen. Vuonna 2019 julkaistussa pohjoisintialaisessa yhteisöpohjaisessa poikkileikkaustutkimuksessa tarkastelun kohteena oli 449 Haryana-osavaltiossa asuvaa yli 60-vuotiasta tutkittavaa. Kyseisessä tutkimuksessa spirometria suoritettiin kannettavalla Spirolab-laitteella, ja tutkimusten luotettavuutta arvioitiin asianmukaisesti vuoden 2005 ATS/ERS-kriteeristöön nojautuen. Tutkittavien spirometrioiden luotettavuuteen vaikuttavina mahdollisina tekijöinä huomioitiin esimerkiksi sosioekonominen status, ikä, painoindeksi ja tupakointi. Keskeinen tutkimushavainto oli kannettavan spirometrialaitteiston luotettavuus; noin 87,3 % tapauksista saavutettiin hyväksyttäviä puhallus-suorituksia, mutta iän kasvaessa etenkin yli 70-ikävuoteen hyväksyttävien spirometrioiden määrä laski nuorempiin ikäryhmiin verrattuna. Sivuhuomiona tutkimuksessa havaittiin, että alhainen painoindeksi korreloi myös heikompaan laatuun puhalluksissa. Sosioekonomisella statuksella, tupakoinnilla tai sukupuolella ei ollut tilastollista merkittävyyttä spirometrian onnistumisen kannalta. (Kaur ym. 2019) Toisessa 2019 vuonna julkaistussa brasilialaisessa retrospektiivisessä poikkileikkaustutkimuksessa käsiteltiin myös spirometrian teknistä laatua yli 60-vuotiaiden ikäryhmissä. Tutkimus käsitti hieman laajemman, kaikkiaan 4126 puhallusta sisältävän pohja-aineiston. Tutkimuksessa käytettiin kiinteää spirometriajärjestelmää ja tuloksien hyväksyttävyyttä käsiteltiin uusimpien ATS/ERS-

kriteeristöjen mukaisesti. Tutkimuksessa havaittiin, että kognitiivinen poikkeama (muistisairaus) vähensi merkitsevästi todennäköisyyttä, että puhallus täyttäisi hyväksymis- tai toistettavuuskriteerit ( $p \leq 0.015$  ja  $p \leq 0.007$ ). Sen sijaan iällä tai painoindeksillä ei saavutettu nyt tilastollista merkitsevyyttä luotettavuusvaikutuksessa. Mainittakoon, että yli 90-vuotiaiden ikäryhmässä puhallusten hyväksymiskriteerit täyttyivät 88 %:ssa tapauksista ja toistettavuuskriteerit 60 %:ssa tapauksista. (Melo ym. 2019) Ikääntyneiden puhallussarjoja käsiteltiin myös vuonna 2015 julkaistussa, venäläiseen ja belgialaiseen kohorttitutkimukseen pohjautuvassa poikkileikkaustutkimuksessa. Belgialaisessa kohortissa spirometrioineen oli 522 yli 80-vuotiaasta osallistujaa, heidän puhalluksistaan 43,3 % täytti ATS/ERS-kriteeristöt. Kriteeristöt täyttävän suorituksen taustalla oli yleensä astmaa/COPD:a sairastava mies, jonka MMSE-lukema oli yli 24, vetosuhteen laskettiin olevan 1,33 luottamusvälillä 95 %. Venäläisessä kohorttiaineistossa tutkittavat olivat hieman nuorempia mutta kuitenkin yli 65-vuotiaita, tutkimushavainnot sen sijaan olivat samansuuntaisia kuin Belgian tapauksessa; alle 24 MMSE-pisteillä vetosuhde huonolaatuiseen spirometriaan oli 1,30, luottamusvälillä 95 %. Yhteenvedona muistisairaudella on siis toki oma osuutensa spirometrian onnistumisessa mutta laajojen monimuuttujaisen tilastollisen analyysin jälkeen pelkkää matalaa MMSE-lukemaa ei voida pitää itsenäisenä ennustetekijänä huonolaatuiseen spirometriaan. Tutkimus suosittaakin aktiivista spirometria-testausta myös iäkkäämmille ikäryhmille. (Turkeshi ym. 2015)

Myös lasten spirometrioiden onnistumisesta löytyy joitakin tutkimuksia. Vuoden 2013 meksikolaisessa julkaisussa spirometrioita oli mukana kaikkiaan 376 ja tutkittavien keski-ikä oli 6,7 vuotta. Nämä tutkimukset tehtiin kiinteällä laitteella keuhkofunktiolaboratoriossa ja puhallukset suhteutettiin vuonna 2007 julkaistuihin ATS/ERS-kriteeristöihin alle 6-vuotiaille lapsille ja esikouluikäisille. Tutkituista suorituksista kaikkiaan 68 % täytti edellä mainitun kriteeristön ja esimerkiksi toistettavuuskriteerit täyttyivät peräti 90 %:ssa tapauksia. Tutkimuksessa havaittiin puhallusten laadun paranevan iän myötä. (Gochioa-Rangel ym. 2013) Vastaavaan johtopäätelmään päädyttiin myös yhdysvaltalaisessa vuonna 2008 julkaistussa 4–17-vuotiaita tarkastelevassa tutkimuksessa. Tutkimuksessa 393 spirometriasta kaikkiaan 292 (74 %) täytti vuoden 2007 ATS/ERS-mukaiset standardit lasten ja nuorten spirometrioille. Keskeiset tutkimushavainnot mukailivat aiheen muuta tutkimuskirjallisuutta; varmuus spirometrian suorittamisessa lisääntyi iän myötä ja etenkin 6-vuoden iässä spirometrian suorittaneista lapsista noin puolet onnistui puhaltamaan adekvaatin ja toistettavan pu-

halluskäyrän. 10-vuotiaista onnistumisprosentti oli 85 % eikä merkitsevää kasvua enää tapahtunut vanhemmilla ikäryhmillä. Sukupuolella tai rodulla ei ollut tilastollista merkitsevyyttä puhalluksen onnistumisen kannalta. Merkittävimmät kompastuskivet toistettavuuden ja luotettavuuden osalta liittyivät etenkin riittävän pitkän (yli 3 sekuntia) puhalluksen saavuttamiseen. (Loeb ym. 2008) Hieman vanhempaa kirjallisuutta edustaa puolestaan englantilainen vuoden 2001 julkaisu tutkimus kotispirometrialaitteiston ja spirometriapuhallusten luotettavuudesta astmaa sairastavilla kouluikäisillä lapsilla. Mukana oli 90 iältään 7–14 vuotiaista lasta. Spirometriapuhallukset suoritettiin 16 viikon seurantajakson aikana kotiolo-suhteissa Vitalograph-kotispirometrialaitteistolla astmahoitajan ohjaamana. Puhallusten toistettavuutta arvioitiin selkeästi vanhemmalla 1987 ATS/ERS-mukaisella arviointias-teikolla, jonka keskiönä oli 5 % enimmäisvaihtelu kahden parhaan puhalluksen kesken FVC ja FEV -arvoissa. Lähes neljän kuukauden mittaisella seurantajaksolla spirometriapuhallus-ten tekninen laatu ei tilastollisesti merkitsevästi muuttunut suuntaan tai toiseen. Toistetta-vuuskriteeristön mukaisia puhallussarjoja saavutettiin reilussa 60 %:ssa tapauksista. Tutki-muksen keskeisenä havaintona kuitenkin oli, että sitoutuvuus ja myöntyvyys kotimittauksiin riittävän pitkällä tutkimusjaksolla on heikkoa ja siksi laajempaan kotispirometriaseurantaan tulisi suhtautua kriittisesti. (Wensley ym. 2001)

### **3.4. Spirometria – ohjaajan rooli onnistumisessa**

Spirometriaa ohjaavan ja valvovan henkilöstön pätevyyden ja kouluttautuneisuuden korre-laatiosta luotettavampiin puhallustestauksiin on varsin paljon tutkimusnäyttöä. Varsin tuo-reessa 2016 kanadalaisessa julkaisussa tarkasteltiin 12-kuukautisen mentorointi- ja interven-tiojakson vaikuttavuutta. Ennen interventiojaksoa suoritetuista puhalluksissa (n=191) 30,9 % täytti 2005 ATS/ERS-mukaiset hyväksymis- ja toistettavuuskriteerit. Tutkimusjakson jäl-keen vastaava luku oli 44,6 % (n=193). (Gupta ym). Vuonna 2012 julkaistussa englantilai-nessa tutkimuksessa puolestaan tarkasteltiin perusterveydenhuollossa toimivien astmahoita-jien kyvykkyyttä toimittaa laadukkaita spirometriatutkimuksia kahden tunnin työpajatoimin-tamuotoisen koulutuksen ja ohjatun/valvotun klinisen harjoittelun päätteeksi. Koulutuksen jälkeen hoitajien ohjaamista ja valvomista puhallussarjoissa peräti 71 %:ssa täytyivät uu-demmat vuoden 2003 ATS/ERS-kriteeristön mukaiset laatukriteerit (n=472). Tiiviillä kou-lutuksella ja tutkimushoitajien ohjaukseen ja ammattitaitoon kohdistuvalla interventiolla voidaan siis saada tuotettua laadukkaita, sairaalatasoon vertautuvia spirometriapuhalluksia perusterveydenhuollon puolellakin. (Licskai ym. 2012)

#### 4. TUTKIMUSONGELMA

Tämän tutkielman tarkoituksena on tarkastella Pohjois-Suomen vuoden 1966 syntymäkohortista kerättyä spirometriadataa. Tarkastelen tutkimuksessani sitä, miten suuri osa puhalluksista on teknisesti onnistuneita eli kliinisen diagnostiikan ja hoidon kannalta käyttökelpoisia. Lisäksi tarkastelen epäonnistuneen suorituksen taustalla vaikuttavia tekijöitä ja vertailen niiden ilmaantuvuutta toisiinsa. Tarkasteleman aineisto kattaa 818 suoritettua spirometria-puhallusta. Tarkoituksena on ottaa kantaa spirometrian luotettavuuskriteereiden täyttymiseen ja luotettavuusongelmien taustoihin, ei niinkään sairauksien diagnostiikkaan. Luotettavuusarvion pohjalta pystytään ottamaan kantaa myös aineiston käyttökelpoisuuteen muissa analyyseissä.

#### 5. AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimukseni aineistona oleva Pohjois-Suomen vuoden 1966 syntymäkohortti on koko elinkaaren kestävä tutkimusohjelma, jonka avulla pyritään parantamaan väestön elinolosuhteita sekä etsimään ratkaisuja käytännön potilashoidon ongelmiin. Kohorttiin syntyi kaiken aikaa 12 231 lasta. Näistä 173 menehtyi kohtuun. Aineistosta on kerätty tietoa erilaisten kliinisten tutkimusten lisäksi kirjallisia kyselyillä terveydestä ja hyvinvoinnista. Spirometria-aineisto on kerätty muiden kliinisten tutkimusten yhteydessä tutkittavien ollessa 46 vuoden iässä. Tutkimuksiin kutsuttiin yhteensä 10 230 henkilöä, ja itse tutkimukset ajoittuivat vuosien 2012 ja 2014 välille. Spirometrian lisäksi tehtiin esimerkiksi kardiiovaskulaarisia, allergologisia, muskuloskeletaalisia ja hammasterveydellisiä tutkimuksia sekä otettiin biologisia näytteitä.

Tämän tutkimuksen spirometrinen aineisto sisältää 818 spirometriaa ja ne on koottu pääosin kannettavalla CareFusionin valmistamalla Spirometer-laitteella, joka on kytketty kannettavaan tietokoneeseen. Kannettavan laitteen käyttäminen asettaa omat haasteensa spirometristen parametrien mittaamiselle, koska mittaustuloksiin keskeisenä seikkana vaikuttava tutkitavan asento ei ole läheskään yhtä vakioitu kuin sairaalaolosuhteisessa tehtävällä kiinteällä järjestelmällä tehdyssä mittauksessa. Hyvän ja neutraalin asennon ylläpitäminen tutkimuksen aikana etenkin kannettavaa tutkimuslaitteistoa käytettäessä voi olla hyvinkin hankalaa.

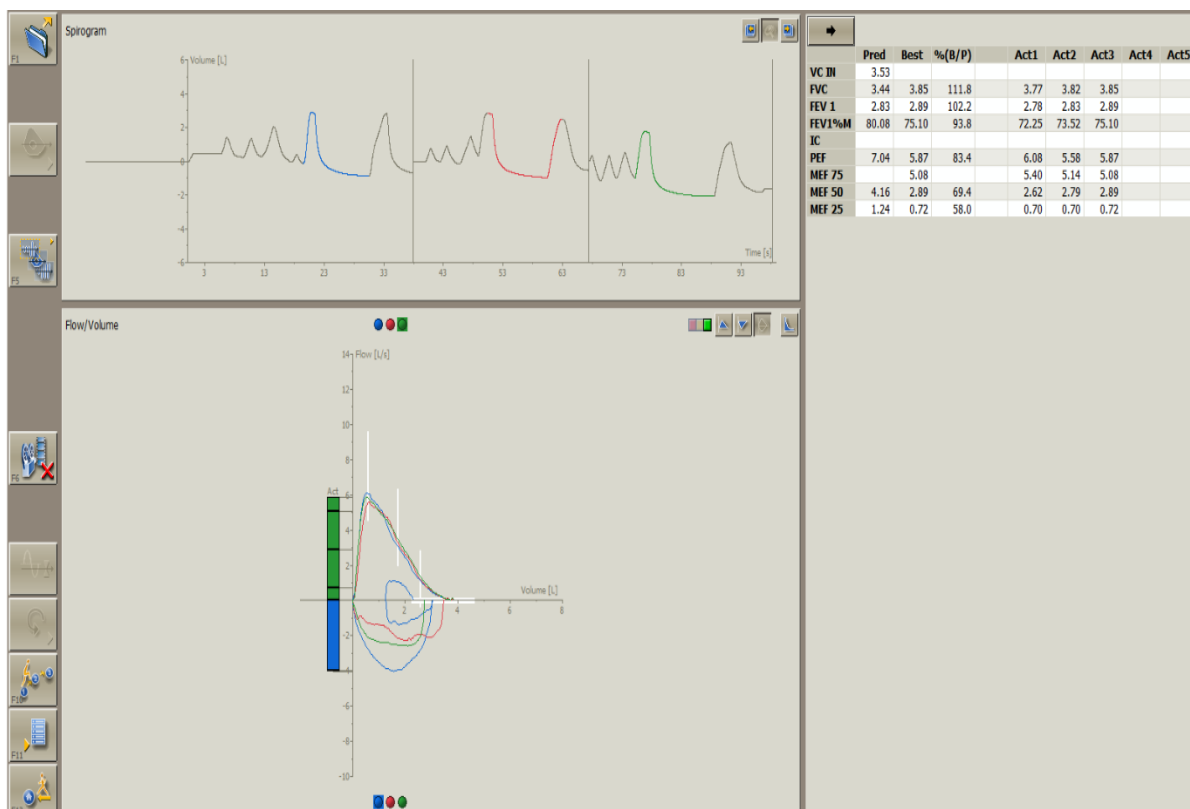
Tutkimuksessa saatuja spirometrisia arvoja tarkasteltiin erityisellä tarkoitukseen sopivalla JLAB-laiteohjelmistolla, jossa puhallukset olivat esillä niin graafisena käyränä kuin arvojen



osalta taulukoituna. Täten puhallusten arviointi oli helppoa, koska monesti jo pelkkä puhallusta kuvaava käyrä paljasti tutkimusongelman kannalta oleelliset asiat ja sen, oliko itse puhallus luotettava vai virheellinen. Aina ei ollut tarpeen käyttää edes tarkempaa numeerista validointia käyrän luotettavuuden arvioimisessa. Käyrien analysointi tapahtui 9/2015-5/2016 välisenä ajanjaksona Oulun yliopiston lääketieteellisen tiedekunnan tiloissa spirometriatutkimuksessa käytettyä kannettavaa tietokonetta ja ulkoisia näyttöpäätteitä hyödyntäen. Tulokset taulukoitiin välittömästi Excel-ohjelmistoon.

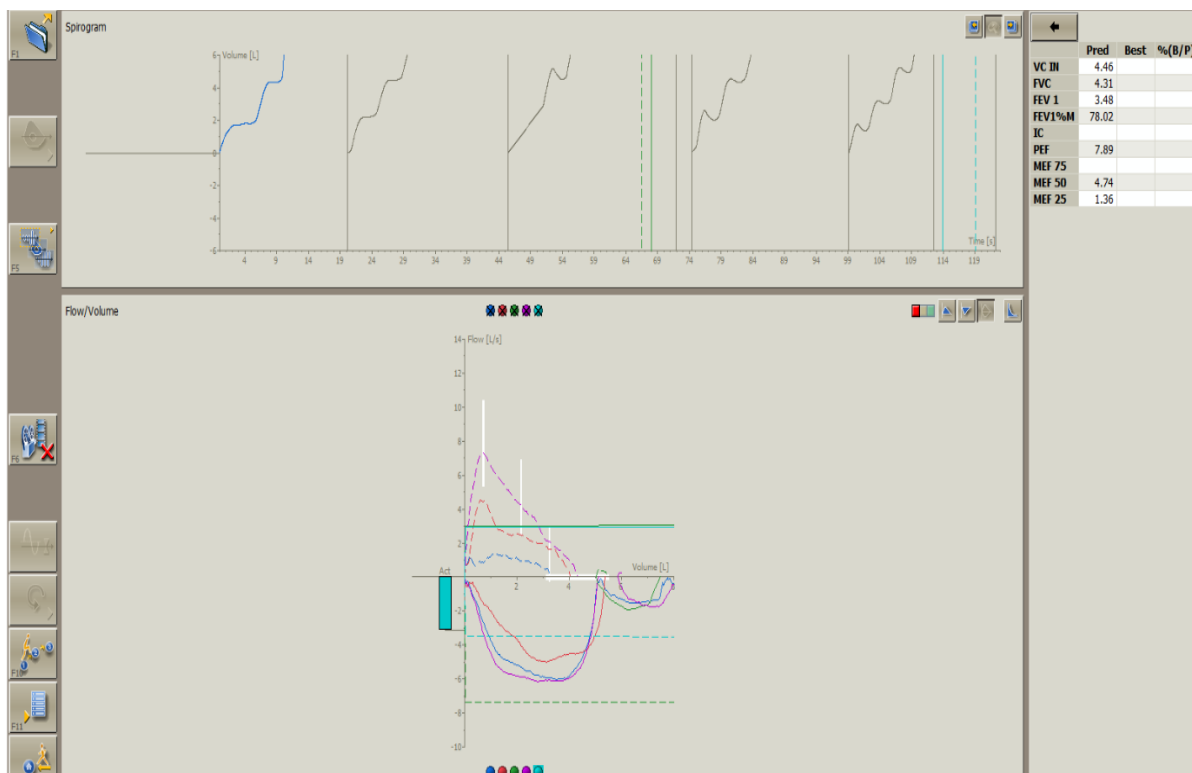
Ennen aineiston analysointia keuhkosairauksien erikoislääkäri, tutkielman ohjaaja, Essi Varkki, kävi perusteellisesti kanssani lävitse spirometrian luotettavuuskriteeristön ja antoi ohjeistusta spirometrian hahmontunnistukseen. Harjoittelimme esimerkkien turvin luotettavan spirometriapuhalluksen tunnistamista ja kävimme läpi numeerisia vaatimuksia. Harjoittelin spirometrian läpikäymistä noin 50 puhalluksella, jotka olivat jo valmiiksi analysoitu tutkimushoitajan toimesta, ennen kuin itse siirryin varsinaisen aineistoni pariin. Lisäksi Oulun yliopistollinen sairaala mahdollisti minulle vierailun keuhkosairauksien osaamiskeskuksen keuhkofunktiopoliklinikalle, jossa sain seurata keuhkohoitajien työpäivää spirometriapuhallusten parissa kiinteillä järjestelmillä. Osana tutkielman laatimista olen myös tutustunut kannettavaan Carefusion-spirometrialaitteistoon ja suorittanut omatoimisia puhalluksia järjestelmällä spirometrian virhelähteiden analysoimisen tueksi ja ymmärtämiseksi.

Tarkastelin puhallukset vuoden 2005 ATS/ERS-luotettavuuskriteeristöjen mukaisesti. Onnistuneen puhallussarjan tuli tässä tutkielmassa täyttää sekä hyväksymis- että toistettavuuskriteerit, jotka on esitelty aiemmin kappaleessa 2.6. Kuviossa 1. demonstroidaan onnistunut 3 puhalluksen sarja.



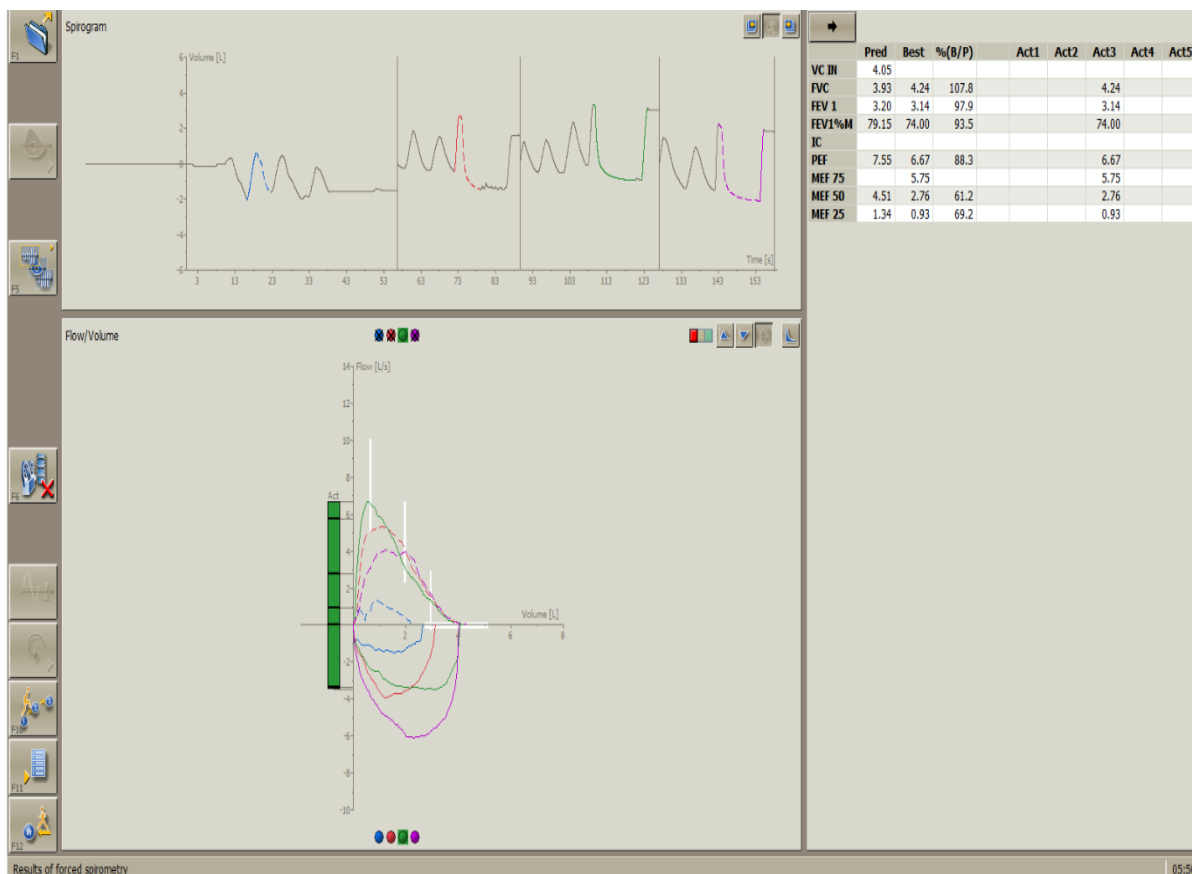
Kuvio 1. Teknisesti tyylipuhdas suoritus, ATS/ERS-luotettavuuskriteeristöt täyttävä puhallus, jossa sekä toistettavuuskriteeristöt (FEV1 ja FVC eivät poikkea toisistaan yli 150 ml:aa) että hyväksymiskriteeristöt (Käyrän muoto) täyttyvät. (Miller ym. 2005)

Aineistoa kerätessäni olen keskittynyt tarkastelemaan epäonnistuneiden puhalluksien prevalenssia ja pohdin lisäksi virheellisten mittausten taustalla vaikuttavia asioita. Olen jakanut virheelliset mittaustulokset kolmeen kategoriaan, joista ensimmäisenä käsitellään laiteteknilliset virheet. Tässä tapauksessa tutkimuksessa käytettävää laitteistoa ei ole operoitu oikeaoppisesti, jolloin kuvaajasta voi tulla virheestä riippuen hyvinkin tulkintakelvoton tutkimuksen tai kliinisen diagnostiikan kannalta. Tällaista virhettä nimitetään tutkielmassani nollatason virheeksi. Nimi tulee siitä, että ennen varsinaista tutkimuspuhallusta lepoaikausta kuvaava käyrä ei pysy tilavuuden suhteen nollatason tuntumassa vaan lähtee radikaalisti poikkeamaan siitä. Tämä voi vääristää arvoja ja johtaa virheellisiin tulkintoihin, jos laiteongelma jäisi klinikolta huomaamatta. Laiteteknistä eli nollatason virhettä edustava käyrä esitetään kuvassa 2. Osa puhalluksista epäonnistui myös siten, että tallennettua spirometriadataa ei löytynyt järjestelmästä ollenkaan. Olen kategorisoinut tällaiset tapaukset omana ryhmänä.



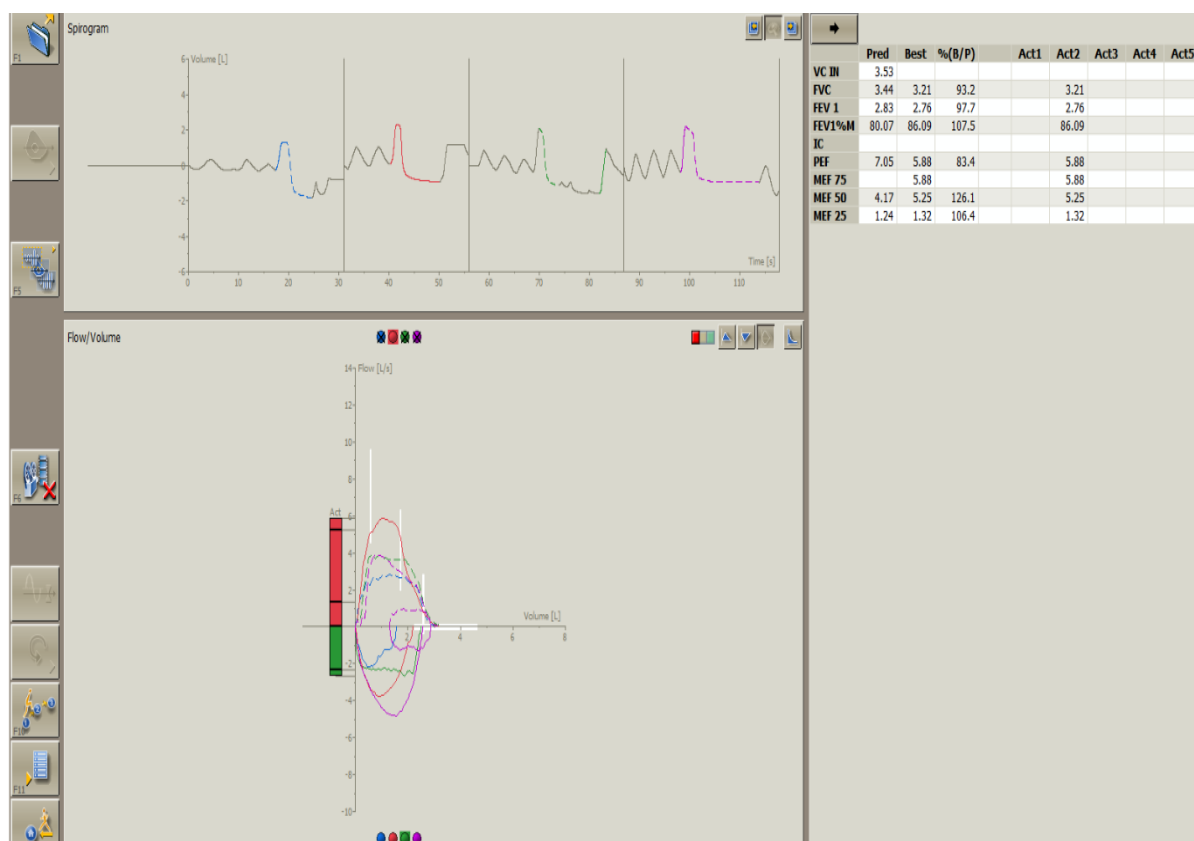
Kuvio 2. Laitetekninen nollatason virhe. Ylempänä näkyvässä Spirogram-osiossa hengityksen perustaso poikkeaa referenssitasosta, ”0-tasosta” ylös. Tutkimus ei ole luotettava ja siten epäonnistunut

Loput tarkastelemani puhallukset edustavat epäonnistuneita puhalluksia, jolloin taustalla on henkilötason virheet. Tällöin nämä puhallukset eivät täytä ATS/ERS-luotettavuuskriteeristöjä, vaikka ovatkin laiteteknisestä näkökulmasta onnistuneet. Olen kategorisoinut virhepuhallukset potilas- ja hoitajalähtöisiin virheluokkiin. Potilaslähtöisessä virheessä tutkittava, asianmukaisesta ohjauksesta huolimatta, ei kykene suorittamaan riittävän montaa oikeanlaista puhallusta. Ohjeistuksen oikeellisuudesta tutkimuksessa kertoo kuitenkin se, että mukana on aina yksi hyväksyttävyysskriteeristö täyttävä kauniin ja asianmukaisen muotoinen puhallus. Epäonnistuneessa puhallussarjassa voi ilmetä esimerkiksi, että osassa puhalluksista tutkittava lopettaa puhalluksen ennen aikojaan, mikä näkyy spirometriaa kuvaavan käyrän jyrkkänä putoamisena ja puutteellisena plateau-vaiheena. Toisaalta voi myös olla, että jokin puhalluksista ei ole riittävän räväkkä ja PEF saavutetaankin siten vasta esimerkiksi puhalluksen puolivälin tietämillä. Potilaskategorian virheeksi laskin myös sellaiset puhallussarjat, joissa toistettavuuskriteeristöt eivät täyty. Tyypillistä potilastason virheluokitukseen kategorisoitunutta puhallusta esittelenkin kuvassa 3.



Kuvio 3. Potilastason virheen sisältävä puhallussarja. Kuvassa esiintyvät spirometriakäyrät poikkeavat varsin paljon muodoltaan toisistaan, mutta kuitenkin vihreällä merkitty puhallus numero 3. on muodoltaan hyväksymiskriteeristön mukainen.

Hoitaja-tason virheessä ohjeistus on puutteellinen. Tutkittava ei ole ymmärtänyt spirometrian oikeaoppista suorittamista, jolloin käyrien muodot poikkeavat suunnattoman paljon toisistaan. Hoitajatason virheen erottaa potilastason virheestä se, että tyypillisessä ko. virhesarjan puhalluksissa ei ole mukana yhtään puhallusta, joka voisi täyttää käyrän muodon perusteella hyväksymiskriteeristöt. Tähän kategoriaan kuuluivat myös sellaiset puhallukset, joiden osalta toistettavuuskriteeristöt täytyisivät mutta jotka muodoltaan eivät muistuttaneet lainkaan tyypillistä spirometriaa.



Kuvio 4. Hoitajatasen virheeksi kategorisoitava puhallus. Yksikään kuvan puhalluksista ei täytä mitään ATS/ERS-kriteeristön mukaisia parametreja. Käyrät poikkeavat täysin muotojen puolesta toisistaan, etäisesti spirometriaa muistuttaa ainoastaan punaisella merkitty puhallus numero 2. Tämänkin tapauksessa kuitenkin räjähtävä alku jää selvästi saavuttamatta ja käyrän muoto ei ole hyväksyttävä. Toistettavuskriteerit luonnollisestikaan eivät myöskään täyty.

## 6. TULOKSET

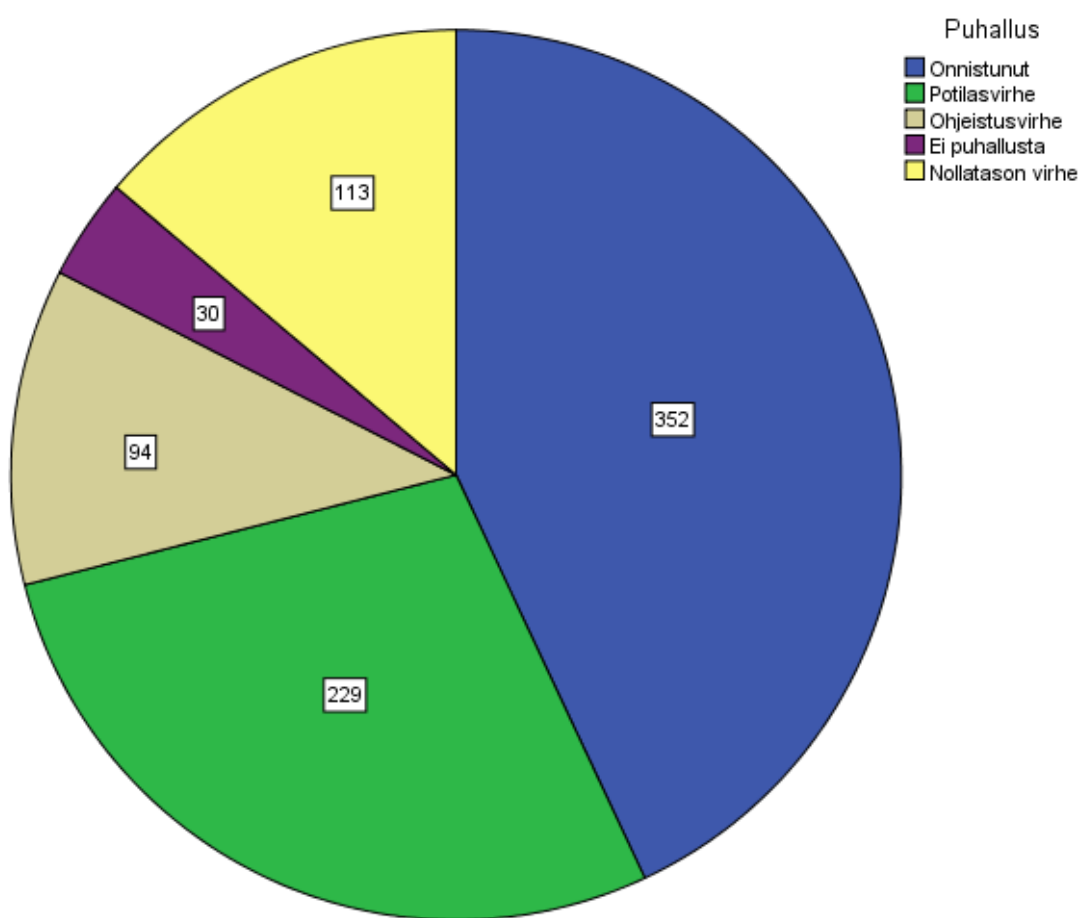
### 6.1 Havainnot laitteistosta

Itse tutkimuslaitteistoon liittyi monenlaisia ongelmia. Laitteistoon kytketty kannettava tietokone oli teknologisesti vanhentunut ja hitaan laskentatehon takia spirometriakäyrästöjen tarkastelu oli hidasta ja katkonaista. Etenkin useamman sovelluksen moniajossa spirometrialaiteohjelmisto kaatui useaan otteeseen. Itse sovelluspuolikaan ei edustanut viimeisintä osaa mistä ja esimerkiksi automaattidiagnostiikka virheellisten tapausten seulonnassa puuttui havaintojeni mukaan täysin. Aiemmassa kappaleessa esittelemäni nollatapaukset olisivat olleet helposti tunnistettavissa nykyisten laiteohjelmistojen toimesta ja mahdollisesti voineet olla sitten vältettävissä kokonaan. Kannettavan tietokoneen näyttö oli myös kovin pieni ja näytön resoluutio ei oikein kelpollisesti riittänyt käyrästöjen luotettavaan tarkasteluun ilman kuvan suurennoksen säätämistä tulkinnan yhteydessä. Liittämäni ulkoinen näyttö auttoi tässä selkeästi ja olisi varmasti ollut apuna myös puhalluksia suoritettaessa. Laitteiston tapahtumapäiväkirjasta ja itsediagnostiikkaosioista selvitin, että järjestelmäkaliibrointeja ei ollut tapahtunut päivittäin ja järjestelmä ei sellaista välttämättä edes edellyttänyt ennen spirometriadatan keräämisen aloitusta.

Toinen merkittävä havainto laitteistosta liittyi sen kannettavaan luonteeseen. Kiinteisiin laitejärjestelmiin kuuluvat vakioidut tukevat istuimet mutta kannettavassa järjestelmässä sellaisia ei ole. Huomasinkin laitteistoa kokeillessani varsin nopeasti, että käyttämälläni istuimella ja sen säädöillä oli vaikutusta spirometrian onnistumiseen, kunnollisen selkänöjan puute yhdistettynä vääriin istumakorkeuteen johtivat helposti puhalluksen aikaiseen selän koukistumiseen/ojennukseen ja mittaustulosten vääristymiseen. Ilman riittävää valvontaa tällaiset virhelähteet ovat mahdollisia kentällä tutkimusaineistoa kerätessä mutta toki ohjeistuksella vältettävissä. Keuhkofunktiopoliklinikalla viettämäni päivän aikana havaitsin, että tutkimushoitajat käyttivät paljon aikaa puhalluksen aikaisen asennon tarkkailuun ja sellaiset puhallussarjat hylättiin, joissa tutkittava lähti liikuttamaan vartaloa pois neutraalista puhallusasennosta. Lisäksi tutkittavia kannustettiin innostavin sanallisoin kehotuksin ja käsien liikkeiden avulla, mikä todennäköisesti mahdollisti maksimaalisen puhalluksen suorittamisen. Keuhkofunktiolaboratoriossa järjestelmät olivat kytkettynä riittävän isoihin näyttöihin, jotka omien havaintojeni mukaan helpottivat huomattavasti käyrästön luotettavaa arviointia.

### 6.2. Spirometrioiden luotettavuus ja virhetapausten yleisyys

Kaikkiaan 818 analysoidusta spirometriasta 352 (43%) oli luokiteltavissa onnistuneeksi ATS/ERS:n mukaisen hyväksymis- ja toistettavuuskriteeristön mukaisesti. 323 (39,4 %) spirometriaa oli laadullisesti riittämättömiä ja arvioni mukaan näistä 229 (28 %) epäonnistuminen johtui potilaslähtöisestä virheestä, kun taas loput 94 (11,5 %) epäonnistuivat ohjeistukseen liittyvän virheen vuoksi. 113 (13,8 %) puhallusta epäonnistuivat laiteteknisistä syistä ja tällaisia puhalluksia kutsuttiinkin siis nollatason virheellisiksi suorituksiksi. 30 (3,7 %) tapauksessa spirometria oli jäänyt tallentumatta ohjelmistoon. Tuloksia esitetään kuviossa 5.



Kuvio 5. SPSS-ohjelmistolla koostettu piirakkakuvio, jossa havainnollistetaan onnistuneiden ja virheellisten spirometrioiden jakaumaa

## 7. POHDINTA

Peilattessani tuloksia kirjallisuuskatsauksessa ilmeneviin lukuarvoihin, voidaan huomata, että analysoimassani aineistossa epäonnistuneet puhallukset ovat selvästi yliedustettuina moniin perusterveydenhuollon verrokkitutkimuksiin nähden. Aineistossani vain 43 % spirometriasuoritteista päästiin vuoden 2005 mukaiseen ATS/ERS laatukriteeristöön. Tämä on merkittävästi vähemmän kuin vuoden 2007 yhdysvaltalaisen julkaisun 71 %. (Yawn ym. 2007) Epäonnistuneiden puhallusten suurta lukumäärää ei voida myöskään selittää pelkästään kannettavalla laitteistolla; esimerkiksi Kaur ym. osoittivat vuoden 2019 tutkimuksessaan, että kannettavalla laitteistolla kerätyistä spirometrioista peräti 87,3 % täytti uusimmat laatukriteerit.

Tässä tutkielmassa kaikki puhallukset tarkasteltiin uusimpien ja siten tiukimpien luotettavuuskriteeristöjen mukaisesti ja vanhemmilla vuoden 1994 kriteereillä onnistuneita puhalluksia olisi taatusti löytynyt enemmän. Havaintojeni mukaan monessa hyväksymiskriteeristöä täyttävässä puhallussarjassa toistettavuuden osalta FEV1 ja/tai FVC jäi 150 ml:n ja 200 ml:n väliin vaihtelevuuden osalta ja tässä tutkielmassa sellaiset puhallussarjat hylättiin potilastason virheinä, vaikka ne olisivatkin täyttäneet vuoden 1994 luotettavuuskriteerit. Monissa spirometrioiden luotettavuutta käsittelevissä tutkimuksissa oli arvioitu aineiston laatua sekä uudemmilla että vanhemmilla kriteeristöillä ja ehkä sellainen validointi olisi ollut mielenkiintoista myös omassa tutkielmassani.

Keskeiset ongelmat spirometria-aineiston keräämisessä vaikuttivat liittyvän juuri spirometriatietokoneen ja kannettavan laitteiston toimintaan liittyviin ongelmiin. Datat keräyksen aikana tietokone osoitti olevansa varsin hidas, ja vähänkään raskaampien suoritteiden parissa laskentateho kävi kovin vähäiseksi. Hidas ja kaatuileva järjestelmä on omiaan altistamaan virheellisiin mittauksiin, etenkin jos spirometriaa ohjaava hoitaja ei välittömästi tai välttämättä ollenkaan pääse analysoimaan tutkittavan puhallusta. Myös muissa tutkimuksissa kannustetaan panostamaan laitteistoon riittävästi korkearesoluutioisine näyttöineen ja intuitiivisine ohjelmistoineen (Miller ym. 2005). Merkittävä takaisku luotettavien spirometrioiden keräämiselle on myös ollut se, että käytetty ohjelmistoversio ja spirometriailaitteisto ei sisältänyt järjestelmän sisäistä esitarkastusta käyrien hyväksyttävyydestä. Ehkä jos laite olisi varoittanut perustason poikkeamasta, nollatason virheiden osuus ei olisi ollut niin merkittävä. Oman ongelmatiikkansa laiteteknisiin virheisiin toi myös se, ettei laitekalibraatiota ollut tehty asianmukaisesti päivittäin.



Pohjautuen havaintoihini keuhkofunktiopoliklinikalla, luulen, että kannettava spirometrialaitteisto sisältää valitettavan mahdollisuuden epäluotettavien puhallussarjojen tuottamisessa. Kirjallisuuskatsauksessani en pureutunut tarkemmin vertailemaan kannettavia ja kiinteitä järjestelmiä spirometrian luotettavuuden kannalta, mutta olemassa olevaa tutkimusdataa on tiedossa siitä, että kannettavat laitejärjestelmät eivät ole kiinteiden keuhkofunktiolaboratorioiden laitejärjestelmien veroisia (Derom ym. 2008). Keskeisenä ongelmana on eritoten spirometrian toistettavuuteen liittyvät vakioinnit, kuten istuma/seisoma-asento, ryhti ja puhalluksen aikainen vartalon asennon ja jäntevyyden ylläpito. Kiinteässä järjestelmässä monet edellä mainituista muuttujista on vakioitu ja eivät pääse siten vaikuttamaan epäsuorasti tutkimuksen luotettavuuteen.

Vielä yhtenä keskeisenä näkökohtana nostan spirometriatutkimusta ohjaavan ja valvovan henkilöstön koulutustarpeen esille. Kirjallisuuslähteissä lyhytkin interventio on mahdollistanut perusterveydenhuollonkin tasolla varsin luotettavien spirometriakäyrästäjien keräämisen. (Licskai ym. 2012) Jos tutkimusaineiston keräämistä edeltävästi spirometria-ohjelmiston ja -järjestelmän ominaisuuksia heikkouksine ja vahvuuksineen olisi riittävällä tasolla käyty lävitse, oletettavasti spirometriapuhallukset olisivat olleet toistettavuudeltaan parempia.

Vaikkakin käsittelemäni spirometria-aineisto oli laadultaan harmillisen epäluotettava, tämä ei toki tarkoita sitä, että alueellisesti Pohjois-Pohjanmaalla ei pystyttäisi suorittamaan kriteeristöjen mukaista spirometriadiagnostiikkaa. Kyselytutkimuksien ja suomalaisen kirjallisuuden valossa maassamme kiinnitetään erittäin paljon huomiota laadullisesti korkean spirometriapuhallusdatan keräämiseen ja tilanne on parantunut merkittävästi takavuosikymmenistä. (Pietinalho ym. 2010)

Tutkielmani pohjalta olen päätenyt aiemman aihetta sivuavan kirjallisuuden pohjalta hyvin samassa linjassa olevaan kolmiportaiseen suositukseen spirometriatutkimuksen järjestämisen saralta luotettavuuden maksimoimiseksi. Seuraava ohjeistus on yleistettävissä kaikkiin spirometriatutkimuksiin tarjoaviin/suoritettaviin yksiköihin luotettavuuden lisäämiseksi.

- 1) Laitekalibraation ja -huollon on oltava päivittäistä spirometriatutkimuksia suorittavissa yksiköissä.
- 2) Käytettävän laitteiston tulisi olla riittävän ajanmukaista ja suorituskyvyltään riittävän tehokasta, jotta spirometriatutkimuksen aikaiset häiriötekijät ja hidasteet voitaisiin minimoida.

Eduksi olisi, jos spirometrian mittauksessa käytettävä ohjelmisto tunnistaisi ainakin keskeiset vaaran paikat, kuten tämän tutkimuksen nollatason virhepuhallukset.

3) Tutkimuksia suorittavan henkilöstön koulutukseen ja ohjelmisto-ohjeistukseen tulee laittaa riittävästi resursseja.

Spirometriapuhallukset vaativat paljon resursointia ja vievät aikaa. Onkin varsin harmillista, että näinkin suuren aineiston keräämiseen käytetyt resurssit eivät ole tuottaneet riittävän laadukasta spirometriadataa, jota voitaisiin mielekkäästi hyödyntää myöhemmissä analyyseissä. Tämän tutkielman havainnot ovat olleet mukana vaikuttamassa siihen, että vuoden 1986 syntymäkohortin spirometrinen puhallusaineisto kerätään Oulun yliopistollisen sairaalan keuhkofunktiopoliklinikalla vakioiduissa olosuhteissa. Tulevaisuudessa olisikin erittäin mielenkiintoista tehdä vertaileva analyysi myöhemmän syntymäkohortin puhallusaineiston laadusta ja luotettavuudesta.

## 8. LÄHDELUETTELO

- Astma: Käypä hoito -suositus (2012). Käypä hoito. Suomalaisen Lääkäriseuran Duodecimin, Suomen Keuhkolääkäriyhdistys ry:n, Suomen Lastenlääkäriyhdistys ry:n ja Suomen Kliinisen Fysiologian Yhdistys ry:n asettama työryhmä. Helsinki: Suomalainen Lääkäriseura Duodecim, 2012 (päivitetty 24.9.2012). <http://www.kaypahoito.fi>. Luettu 12.12.2019.
- Derom E, Weel C, Liistro G, Buffels J, Schermer T, Lammers E, Wouters E, Decramer M (2008). Primary care spirometry. *European Respiratory Journal*, 31:197-203
- Gochicoa-Rangel L, Vargas-Dominquez C, Garcia-Mujica M, Bautista-Bernal A ym. (2013). Quality of spirometry in 5 to 8 year old children. *Pediatric Pulmonology*, 48(12):1231-1236
- Gupta, S, Moosa, D, MacPherson, A, Allen, C, & Tamari, I. E. (2016). Effects of a 12-month multi-faceted mentoring intervention on knowledge, quality, and usage of spirometry in primary care: a before-and-after study. *BMC pulmonary medicine*, 16(1), 56.
- Hodgson U, Purokivi M (2017) Sidekudossairauksiin liittyvät interstitiaaliset keuhkosairaudet. *Suomen Lääkärilehti* 38(72): 2084-2090
- Hueto J, Cebollero P, Pascal I, Cascante JA, Eguía VM, Teruel F, Carpintero M (2006). Spirometry in primary care in Navarre, Spain. *Archivos de bronconeumologia*, 42(7):326-31.
- Kainu A, Timonen KL, Toikka J, Qaiser B, Pitkäniemi J, Kotaniemi JT, Lindqvist A, Vaninen E, Länsimies E, Sovijärvi AR (2016). Reference values of spirometry for Finnish adults. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 36(5):346-58
- Kaur, R., Kumar, A., Hadda, V., Kalaivani, M., Nongkynrih, B., Kant, S., Gupta, S. K., & Vignesh, D. (2019). Quality of spirometry testing in a community setting: A study among elderly persons in a rural area of Haryana. *Journal of family medicine and primary care*, 8(11), 3718–3725.
- Keuhkoahtaumatauti: Käypä hoito -suositus (2020). Suomalaisen Lääkäriseuran Duodecimin ja Suomen Keuhkolääkäriyhdistys ry:n asettama työryhmä. Helsinki: Suomalainen Lääkäriseura Duodecim, 2020 (päivitetty 29.4.2020). <http://www.kaypahoito.fi>. Luettu 01.05.2020.
- Koski-Pirilä A, Martikainen J, Partio T, Ruokoniemi P, Saastamoinen L, Voipio T (2017) Suomen lääketilasto 2016. Lääkealan turvallisuus- ja kehittämiskeskus Fimea ja Kansaneläkelaitos (toim. Helsinki 2017), <http://www.fimea.fi>
- Licskai CJ, Sands TW, Paolatto L, Nicoletti I, Ferrone M. (2012), Spirometry in primary care: an analysis of spirometry test quality in a regional primary care asthma program. *Canadian Respiratory Journal*, 19(4):249-254.

- Loeb JS, Blower WC, Feldstein JF, Koch BA, Munlin AL, Hardie WD (2008). Acceptability and repeatability of spirometry in children using updated ATS/ERS criteria. *Pediatric Pulmonology*, 43(10):1020-1024
- Melo, S., Oliveira, L. A., Wanderley, J., & Rocha, R. (2019). Evaluating the extremely elderly at a pulmonary function clinic for the diagnosis of respiratory disease: frequency and technical quality of spirometry. *Jornal brasileiro de pneumologia : publicacao oficial da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisilogia*, 45(4), e20180232.
- Miller MR J., Crapo R, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, Enright P, M van der Grinten C P, Gustafsson P, Jensen R, ym. (2005). General considerations for lung function testing. *European Respiratory Journal*, 26: 153-161
- Miller MR J., Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, Crapo R, Enright P, M van der Grinten CP, Gustafsson P, Jensen R, Johnson DC, MacIntyre N, McKay R, Navajas D, Pedersen OF, Pellegrino R, Viegi G, Wanger J (2005). Standardisation of spirometry. *European Respiratory Journal*, 26: 319-338
- Pierce R. (2005). Spirometry: an essential clinical measurement. *Australian Family Physician* 34:535-9
- Pietinalho A, Piirilä P, Poussa T, Lindholm T, Siukola A, Sovijärvi A (2010). Spirometriatutkimusten laatu on Suomessa jo hyvä. *Suomen Lääkärilehti*, 43(65):3505-3512
- Piirilä P, Pietinalho A, Loponen M, Naumanen H, Nurminen M, Salo SP, Siukola A, Korhonen O, Koskela K, Sovijärvi A (2001). Spirometriatutkimusten laatu Suomessa parane massassa. *Suomen Lääkärilehti*, 45(56):4599-4605
- Schermer TR, Crockett A, Poels P, Dijke J, Akkermans R, Vlesk H, Pieters W (2009). Quality of routine spirometry tests in Dutch general practices. *British Journal of General Practice*, 59(569):376-382
- Sovijärvi A (2019). Keuhkojen toimintakokeet. Lääkärin käsikirja, Artikkelin tunnus: ykt00165 (006.007), Kustannus Oy Duodecim
- Sovijärvi A, Kainu A, Malmberg P, Gludbrand A, Timonen K, Piirilä P (2016). Spirometrian suorittaminen ja tulkinta – uudet suomalaiset viitearvot käyttöön. *Suomen Lääkärilehti* 71(23):1673-1681
- Sovijärvi A, Malmberg P ja Piirilä P (2018) Keuhkotilavuuksien tulkintaperiaatteet oppikirjasta Kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen perusteet, Artikkelin tunnus: kji00017 (002.013), Kustannus Oy Duodecim
- Sovijärvi A, Malmberg P ja Piirilä P (2018). Ventilaatiokyvyn mittauksien käyttöaiheet oppikirjasta Kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen perusteet, Artikkelin tunnus: kji00006 (002.002), Kustannus Oy Duodecim
- Turkeshi, E., Zelenukha, D., Vaes, B., Andreeva, E., Frolova, E., & Degryse, J. M. (2015). Predictors of poor-quality spirometry in two cohorts of older adults in Russia and Belgium: a cross-sectional study. *NPJ primary care respiratory medicine*, 25, 15048.

- Wensley DC, Silverman M (2001). The quality of home spirometry in school children with asthma. *Thorax*, 56:183–185
- Viljanen AA, Halttunen PK, Kreus KE, Viljanen BC (1982). Spirometric studies in non-smoking, healthy adults. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 159: 5-20.
- Yawn BP, Enright PL, Lemanske RF Jr, Israel E, Pace W, Wollan P, Boushey H (2007). Spirometry can be done in family physicians' offices and alters clinical decisions in management of asthma and COPD. *Chest*. 132(4):1162-8